








# DEVICE AND METHOD FOR THE LASER PROJECTION OF HIGH-RESOLUTION IMAGES ONTO THE RETINA OF THE EYE, SUPERIMPOSED WITH THE IMAGE CONTENT OF THE FIELD OF VISION

**Patent number:** WO02099506  
**Publication date:** 2002-12-12  
**Inventor:** DIETRICH KLAUS (DE)  
**Applicant:** DIETRICH KLAUS (DE)  
**Classification:**  
- international: G02B27/01  
- european: G02B27/01C, G02B27/01C1  
**Application number:** WO2002DE02068 20020606  
**Priority number(s):** DE20011027367 20010606

**Also published as:**

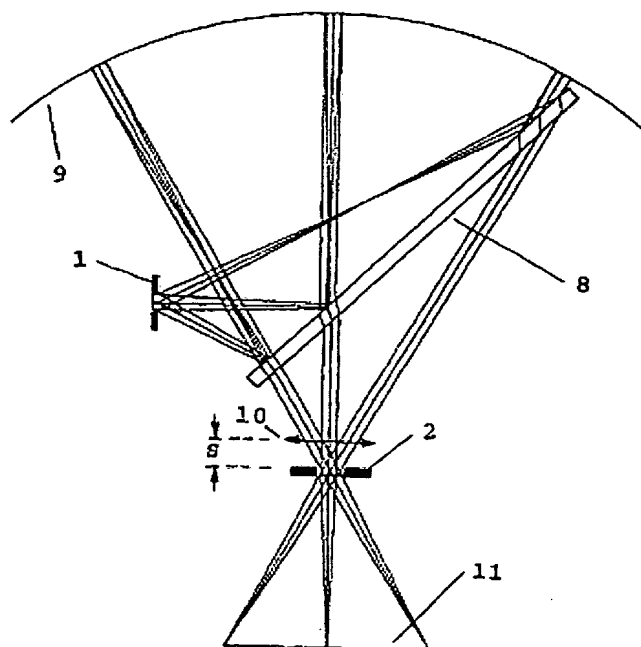
 WO02099506 (A3)  
 EP1393118 (A3)  
 EP1393118 (A2)  
 DE10127367 (A1)

**Cited documents:**

 US5151722  
 EP0660155  
 US5467104

**Abstract of WO02099506**

The invention relates to an optical system, which allows video images to be projected at an observation angle of approximately 60 DEG, using a single or multi-coloured mixture of laser beams, either directly onto the retina or by traversing a diffuser screen onto the retina and in addition an image of a 60 DEG field of vision to be superimposed. During the projection of the video image, a convergent light beam is focussed onto the retina of the eye, using a partially permeable planar and concave mirror, at an extremely high resolution that is only dependent on the visual acuity of the eye and the diffraction limitation of the projected light beam, the latter only being determined by the beam divergence and the cross-section of the light beam.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 27 367 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 02 B 27/01**  
G 02 B 27/18

②1 Aktenzeichen: 101 27 367.3  
②2 Anmeldetag: 6. 6. 2001  
④3 Offenlegungstag: 12. 12. 2002

DE 101 27 367 A 1

⑦1 Anmelder:  
Dietrich, Klaus, Prof. Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 97469  
Gochsheim, DE

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

US	59 43 171 A
EP	06 60 155 A1
WO	98 05 992 A2

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑤4 Vorrichtung und Verfahren zur Laserprojektion hochauflösender Bilder auf die Netzhaut des Auges, überlagert mit dem Bildinhalt des Gesichtsfeldes
- ⑤7 Mit der beschriebenen optischen Anordnung können Videobilder bei einem Beobachtungswinkel von ca. 60° mit einem ein- oder mehrfarbigen Gemisch aus Laserstrahlen entweder direkt auf die Netzhaut oder durch Beschreiben einer Streuscheibe auf die Netzhaut projiziert werden und zusätzlich mit dem Bild eines 60°-Gesichtsfeldes überlagert werden. Es wird bei der Videobildprojektion ein konvergenter Lichtstrahl mit Hilfe eines teildurchlässigen Plan- und Konkavspiegels auf die Netzhaut des Auges fokussiert, bei extrem hoher Bildauflösung, die nur noch von der Sehschärfe des Auges und der Beugungsbegrenzung des Projektionslichtstrahles abhängt, die nur noch von der Strahldivergenz und vom Querschnitt des Lichtstrahles bestimmt wird.

DE 101 27 367 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung und ein Verfahren zur Projektion von ein- oder mehrfarbigen Videobildern auf die Netzhaut des Auges mit Hilfe eines in der Helligkeit seiner Farbkomponenten modulierten Lichtstrahles (z. B. Laserstrahlmisch) der über ein oder mehrere elektrisch in ihrem Ablenkwinkel gesteuerte Ablenkspiegel (Spiegelscanner) zweidimensional über die Netzhaut geführt wird, zur sequentiellen scharfen Abbildung der Bildpunkte. Je nach Anwendung wird dabei entweder nur das Videobild (Anwendungsfall: Videobrille) auf die Netzhaut projiziert, oder das Videobild zusätzlich mit dem Bild des Blickfeldes des Beobachterauges überlagert (Anwendungsfall: Pilotenbrille).

[0002] Nach dem Stand der Technik sind verschiedene optische Anordnungen zur Lösung dieses Problems bekannt, z. B.:

1. "Helmet-Mounted-Displays and Sights", Mordekhai Velger, Artech House, Boston/London, 1998
2. "Der Fernseher in der Brille", Elektronik S. 18, 20, 1999
3. US-Pat. Nr. 6 140 979, Microvision Inc. 31.10.2000

[0003] Bei allen bisherigen Projektionssystemen werden aufgrund der optischen Abbildungsfehler und der Anordnungen dieser Systeme häufig nur geringe maximale Videobildwinkel zwischen 20°–40° in der Bilddiagonale erreicht, bei nicht zufriedenstellender Bildschärfe. Unter 2. wird z. B. die klassische Anordnung der Abbildung einer Bildfläche mit einem Konkavspiegel auf die Netzhaut des Auges gezeigt. Dabei kommt der Öffnungsfehler des Konkavspiegels voll zur Geltung und beeinträchtigt die Bildschärfe auf der Netzhaut stark. Der Strahlengang unterscheidet sich wesentlich von der Grundanordnung dieser Erfindung (vgl. Anordnung in Fig. 1).

[0004] Es war daher das Ziel dieser Erfindung ein optisches System zu schaffen, das bei einem Videobildfeld und einem überlagerten Blickfeld in der Bilddiagonale jeweils bis zu 60° Bildwinkel erreicht und trotzdem eine extrem hohe Bildschärfe an der physikalischen Grenze der Optik hat, d. h. nur noch durch die Sehschärfe des Beobachterauges und durch die Beugungsbegrenzung des Lichtstrahls (Laserstrahl) limitiert wird.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die im Kennzeichnungsteil des Anspruches 1 niedergelegten Maßnahmen gelöst. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen angegeben und in den nachfolgenden Beschreibung wird die Erfindung an einigen Beispielen erläutert und der zugehörige optische Grundaufbau Aufbau sein Strahlengang und seine verschiedenen Varianten in den Zeichnungen Fig. 1 bis Fig. 3 schematisch dargestellt.

[0006] In Fig. 1 ist die grundsätzliche Anordnung des Systems zur hochauflösenden Projektion von Bildpunkten auf die Netzhaut (11) des Beobachterauges angegeben. Das Beobachterauge wird in Fig. 1 bis 3 durch eine ideale dünne Linse (10) und eine ebene Netzhaut (11) dargestellt. Die zu einem Bildpunkt auf der Netzhaut (11) gehörenden Lichtstrahlen (gezeichnet sind jeweils drei Strahlen, der Zentral- und die beiden Randstrahlen) durchlaufen konvergent die Eintrittsöffnung (1) des Systems.

[0007] Bei einem normalsichtigen Beobachterauge und einem virtuellen Objektstand bei der Bildprojektion von unendlich liegt die Eintrittsöffnung (1) um die optische Weglänge  $R = 2f$  entfernt vor dem sphärischen Konkavspiegel (9) ( $f$  = Brennweite,  $R$  = Radius des Konkavspiegels (9))

d. h. in einem vom ebenen Strahlteiler (8) erzeugten virtuellen Kugelmittelpunkt des Konkavspiegels (9). Die zu einem Netzhautbildpunkt gehörenden konvergenten Strahlenbündel aus der Eintrittsöffnung (1) werden über den Strahlteiler (8) zum Konkavspiegel (9) reflektiert, schneiden sich jeweils in einem Punkt, der um die optische Weglänge  $f = R/2$  von der Oberfläche des Konkavspiegels (9) entfernt ist, und treffen dann divergent auf den Konkavspiegel (9). Der zu einem Netzhaut Bildpunkt gehörende Zentralstrahl trifft jeweils senkrecht auf die Oberfläche des sphärischen Konkavspiegels (9). Dort werden die Strahlenbündel als parallele Strahlen reflektiert, passieren den Strahlteiler (8) und durchlaufen die Austrittsöffnung (2), die im Kugelmittelpunkt des Konkavspiegels (9) liegt und die das vom Konkavspiegel (9) und Strahlteiler (8) erzeugte Bild der Eintrittsöffnung (1) ist.

[0008] Nachdem alle zu einem Netzhautbildpunkt gehörenden Lichtstrahlen zwischen Konkavspiegel (9) und der Austrittsöffnung (2) zueinander parallel verlaufen und deren Zentralstrahl durch den Kugelmittelpunkt des Konkavspiegels (9) läuft, handelt es sich bei den jeweiligen Strahlenbündeln aller Netzhautbildpunkte bezüglich des Konkavspiegels (9) um paraxiale Strahlenbündel, unabhängig von deren Einfallswinkel in das Beobachteraue. Somit hat der Konkavspiegel (9) für die Strahlenbündel aller Netzhautbildpunkte den gleichen Öffnungsfehler, und dieser ist wegen des geringen Öffnungsverhältnisses (= Strahldurchmesser/ $f$ ) sehr klein.

[0009] Der Strahlteiler (8) steht im parallelen Strahlengang und verursacht nur Strahlversatz, aber keinen Bildfeldkrümmungsfehler oder chromatischen Fehler im Bild auf der Netzhaut (11). Die Augenlinse (10) ist typisch in der Austrittsöffnung (2) oder geringfügig davor im Abstand  $S$  ( $S$  größer oder gleich null) angeordnet. Bei großem Strahlquerschnitt in der Austrittspupille (2) und bei  $S > 0$  ist Bildprojektion auf die Netzhaut (11) auch bei Bewegung des Auges möglich, ohne daß eine Kompensation der Augenbewegung durch das Projektionssystem notwendig wird.

[0010] Soll dem auf der Netzhaut projizierten Bild noch das Bild des Gesichtsfeldes überlagert werden (Anwendungsfall: Pilotenbrille), dann wird der Konkavspiegel (9) als teildurchlässiger Spiegel ausgebildet.

[0011] Zur Erzeugung eines endlichen virtuellen Objektstandes für das projizierte Netzhautbild oder zur Korrektur von Fehlsichtigkeit des Betrachterauges wird die Eintrittsöffnung (1) längs ihrer optischen Achse geringfügig aus dem virtuellen Kugelmittelpunkt des Konkavspiegels (9) verschoben, dies erzeugt für die vom Spiegel (9) reflektierten Lichtbündel die erforderliche geringe Strahldivergenz oder Strahlkonvergenz der Lichtbündel vor Eintritt in die Augenlinse (10). Fig. 2 zeigt eine typische Anordnung zur Projektion von Videobildern auf die Netzhaut (11) des Beobachterauges. Vorausgesetzt wird ein ein- oder mehrfarbiger paralleler Lichtstrahl (z. B. ein Laserstrahlmisch) dessen Farbkomponenten in ihrer Helligkeit von den seriellen Bildpunktdaten eines Videosignals moduliert werden. Ferner wird ein elektronisches Ansteuergerät vorausgesetzt, das aus den Zeilen- und Bildsynchrosignalsignalen des Videosignals oder anderen Bildpunktkoordinatendaten die erforderlichen Steuersignale erzeugt, um z. B. einen kardatisch aufgehängten Zweiachsen-Ablenkspiegel (Spiegelscanner)(7) so anzusteuern, daß der Lichtstrahl für jeden Bildpunkt des Videosignals um den erforderlichen Azimut- und Elevationswinkel abgelenkt wird, sodaß der Bildpunkt auf der Netzhaut (11) des Beobachterauges an der gewünschten Stelle im projizierten Bild abgebildet wird. Der modulierte parallele Lichtstrahl läuft von der Einkoppelstelle (14) ggf. über einen Dämpfungsfilter (4) durch ein ein-

oder mehrlinsiges Konvergenzsystem (5) zur Erzeugung des erforderlichen konvergenten Strahlenbündels, das ggf. über den Umlenkspiegel (6) dem zweiachsigen elektrisch gesteuerten Ablenkspiegel (7) zugeführt wird, dieser ist in der Eintrittsöffnung (1) des Projektionssystems angeordnet. Der Ablenkspiegel (7) ist in Fig. 2 gleichzeitig für drei verschiedene Winkelpositionen mit den zugehörigen reflektierten Strahlbündeln eingezeichnet.

[0012] Das Linsensystem (5) erzeugt die gewünschte Konvergenz des Strahlenbündels, aber es kann auch noch die Beseitigung der geringen Abbildungsfehler des sphärischen Konkavspiegels (9) übernehmen, da diese Fehler bei der Anordnung des Projektionssystems unabhängig von der Winkelstellung des Ablenkspiegels (7) für alle Netzhautbildpunkte gleich sind.

[0013] Um bei kleinen Strahlbündelquerschnitten durch die Augenlinse (10) trotzdem bei der Videobildprojektion auf die Netzhaut (11) eine Augenbewegung zuzulassen, wird um den Ablenkspiegel (7) in der Ebene der Öffnung (1) ein ortsauflösender Lichtdetektor (12) (Bildsensor oder Mehrfachsegment-Detektor) angeordnet. Der Konkavspiegel (9) bildet auf ihn die Oberfläche des Beobachterauges ab. Aus den Signalen des Detektors (12) kann die Lage der Pupille des Beobachterauges bestimmt werden und daraus lassen sich elektrische Ansteuersignale für Antriebsmotoren für zweidimensionale Stellelemente erzeugen, mit denen die ganze optische Anordnung, bestehend aus den Elementen (14), (4), (5), (6), (7), (12), (8), (9) horizontal und vertikal so verschoben wird, daß die Austrittsöffnung (2) (vgl. Fig. 1) der bewegten Pupille des Beobachterauges nachgeführt wird. Zusätzlich läßt sich aus den Signalen des Detektors (12) auch die Beleuchtungsstärke auf der Augenoberfläche, erzeugt vom beobachteten Gesichtsfeld durch den teildurchlässigen Konkavspiegel (9) messen, und die erforderliche Projektionshelligkeit des Videobildes auf der Netzhaut einstellen.

[0014] Außerdem läßt sich aus den Signalen des Detektors (12) die jeweilige Blickrichtung des Beobachterauges ermitteln, was zur augengesteuerten Menübedienung bei der Auswahl des gewünschten Inhaltes der Videobildprojektion benutzt werden kann.

[0015] Um die Nachführung des ganzen Projektionssystems bei Augenbewegung zu vermeiden sind große Strahlquerschnitte in der Ebene der Augenlinse (10) notwendig. Dies läßt sich entweder mit einem großflächigen Ablenkspiegel (7) in Fig. 2 erreichen, oder nach Fig. 3 durch Erzeugung eines Primärbildes auf einer streuenden Bildschirmfläche (3), dessen von jedem Bildpunkt ausgehenden breiten Streulichtkegels von einem Linsensystem (13) (z. B. achromatische Kugellinse) zu konvergenten Strahlenbündeln fokussiert werden, deren Schnittpunkte auf einer Kugelfläche mit dem Radius  $R/2$  liegen, und die in Fig. 3 aus einer virtuellen Öffnung mit großem Querschnitt zu kommen scheint, die mit der Eintrittsöffnung (1) des Projektionssystems nach Fig. 1 zusammenfällt. Somit läßt sich das Primärbild auf die Netzhaut (11) abbilden. In Fig. 3 verläuft zufällig nicht jeder zu den Netzhautbildpunkten gehörender Zentralstrahl exakt senkrecht zur Oberfläche des Konkavspiegels (9). Derart geringe Abweichungen sind tolerabel, ohne großen Schärfeverlust im Bild auf der Netzhaut (11).

[0016] Die Erzeugung des Primärbildes auf der Bildschirmfläche (3) kann auf folgende Weise erfolgen:

1. Das Primärbild wird von einem in der Intensität modulierten Lichtstrahl auf der Fläche (3) mit Hilfe eines zweiachsigen Ablenkspiegelsystems (Spiegelscanner) eingeschrieben.
2. Die streuende Bildschirmfläche (3) ist die Aus-

gangsfläche einer Faseroptikplatte, auf deren Eingangsseite das Primärbild

- a. von einem in seiner Intensität modulierten Lichtstrahl mit Hilfe eines zweiachsigen Ablenkspiegelsystems (Spiegelscanner) eingeschrieben wird,
- b. von einer Kathodenstrahlröhre, einem Flüssigkristall- oder Plasmabildschirm eingekoppelt wird,

und von den Lichtleitfasern auf die Ausgangsseite (3) der Faserplatte durchgeleitet und gestreut abgestrahlt wird.

#### Patentansprüche

1. Optische Anordnung und Verfahren zur Projektion elektronischer Bilddaten (z. B. Videobildern) auf die Netzhaut (11) des Beobachterauges mit der Augenlinse (10), **dadurch gekennzeichnet**, daß sich alle Lichtstrahlen die sich auf der Netzhaut des Auges in einem Bildpunkt treffen, konvergent durch die Eintrittsöffnung (1) des optischen Systems laufen, über einen Strahlteiler (8) reflektiert werden, sich in einem Brennpunkt schneiden bevor sie vom ganz oder teilweise reflektierenden Konkavspiegel (9) reflektiert werden, den Strahlteiler (8) passieren und schließlich die Austrittsöffnung (2) des Systems erreichen, wobei das System bestehend aus dem Strahlteiler (8) und dem Konkavspiegel (9) eine Abbildung der Eintrittsöffnung (1) auf die Austrittsöffnung (2) vornimmt, sodaß die Lichtstrahlen aller Bildpunkte auf der Netzhaut (11) des Beobachterauges durch die Eintrittsöffnung (1) und die Austrittsöffnung (2) laufen müssen, wobei die Linse (10) und Pupille des Beobachterauges im Abstand  $S$  ( $S$  größer oder gleich null) vor der Austrittsöffnung (2) liegen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Konkavspiegel (9) um einen sphärischen Spiegel handelt und sich die Austrittsöffnung (2) im Kugelmittelpunkt des Konkavspiegels (9) befindet.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zu jedem Bildpunkt auf der Netzhaut (11) des Beobachterauges gehörende Zentralstrahl (Strahl der jeweils durch die Mitte der Austrittsöffnung (2) verläuft) aus der Eintrittsöffnung (1) den Konkavspiegel (9) senkrecht oder fast senkrecht trifft.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich die zu einem Bildpunkt auf der Netzhaut (11) gehörenden konvergenten Lichtstrahlen aus der Eintrittsöffnung (1) sich vor Erreichen des sphärischen Konkavspiegels (9), dessen Kugelradius  $R$  beträgt, in einem Punkt schneiden, der
  - a) bei einem normalsichtigen Beobachterauge die optische Wegstrecke  $R/2$  von der Spiegeloberfläche (9) entfernt ist.
  - b) eine optische Wegstrecke geringfügig größer oder kleiner als  $R/2$  von der Spiegeloberfläche (9) entfernt ist, um die nötige Strahldivergenz oder Strahlkonvergenz in der Austrittsöffnung (2) zu erzeugen, die zur Korrektur von Fehlsichtigkeit des Beobachterauges für scharfe Abbildung auf der Netzhaut (11) erforderlich ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß im freien Raum um die Eintrittsöffnung (1) ein ortsauflösender Lichtdetektor (12) (d. h. Bildsensor oder Mehrfachsegmentdetektor) an-

geordnet ist, auf den über den Strahlteiler (8) und Spiegel (9) die Augenoberfläche ganz oder teilweise abgebildet wird, sodaß aus den Signalen des Detektors (12) bei Bewegung des Beobachteraues Steuersignale für Stellmotoren erzeugt werden, welche die ganze optische Anordnung bestehend aus den Komponenten (14), (4), (5), (6), (7), (12), (8), (9) so verschieben, daß die Austrittsöffnung (2) der Pupillenbewegung des Beobachteraues folgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein ein- oder mehrfarbiger Lichtstrahl (z. B. ein Gemisch verschiedenfarbiger Laserstrahlen), der in der Intensität seiner Farbkomponenten vom Inhalt der einzelnen Bildpunkte eines Videosignals sequentiell moduliert ist, ein ein- oder mehrlinsiges optisches System (5) zur Erzeugung der geforderten Strahlkonvergenz in der Eintrittsöffnung (1) durchläuft, und der Lichtstrahl dann von einem Spiegelablenksystem (Spiegelscanner) (7), angeordnet in der Eintrittsöffnung (1) um zwei Drehachsen (z. B. um Azimut- und Elevationswinkel) abgelenkt wird, wobei das Spiegelablenksystem (7) durch elektrische Signale so angesteuert wird, daß der Lichtstrahl für jeden Bildpunkt um die erforderlichen Winkel abgelenkt wird, sodaß beim Bildaufbau auf der Netzhaut (11) jeder Bildpunkt an dem gewünschten Ort innerhalb des Bildes auf der Netzhaut (11) fokussiert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das auf die Netzhaut (11) des Beobachteraues zu projizierende Bild zunächst auf einer streuenden Schirmfläche (3) (z. B. Mattscheibe) erzeugt wird, und das Streulicht der Bildpunkte von der Schirmfläche (3) durch ein Objektiv (13) jeweils in konvergente Strahlenbündel umgewandelt wird, wobei die ausgangsseitige Hauptebene des Objektivs (13) mit Feldbegrenzung in der Eintrittsöffnung (1) des Projektionssystems liegt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Primärbild auf die Vorder- oder Rückseite der streuenden, ggf. transparenten Bildschirmfläche (3) von einem zweiachsigen Ablenkspiegel (Spiegelscanner) mit einem ein- oder mehrfarbigen Lichtstrahl geschrieben wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, durch gekennzeichnet, daß die streuende Schirmfläche (3) die Ausgangsseite einer Faserplatte ist, auf deren Eingangsseite das Primärbild mit einem der folgenden Bilderzeugungssystemen geschrieben wird:

- a.) Kathodenstrahlröhre mit integrierter Faserplatte.
- b.) Beleuchteter Flüssigkristallbildschirm
- c.) Plasmabildschirm
- d.) Lichtstrahl abgelenkt von einem zweiachsigen Ablenkspiegel (Spiegelscanner).

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Faserplatte am Eingang und am Ausgang gekrümmte Flächen besitzt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem sphärischen Spiegel (9) um einen teildurchlässigen Spiegel handelt, sodaß auf der Netzhaut (11) das projizierte Videobild mit dem Blickfeld überlagert wird, das das Beobachterauge durch den teildurchlässigen Spiegel (9) betrachtet.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Signalen des ortsauflösenden Lichtdetektors (12) die Beleuchtungsstärke der Augenoberfläche ermittelt wird und nach

diesem Meßwert die gewünschte Helligkeit der Videobildprojektion eingestellt wird.

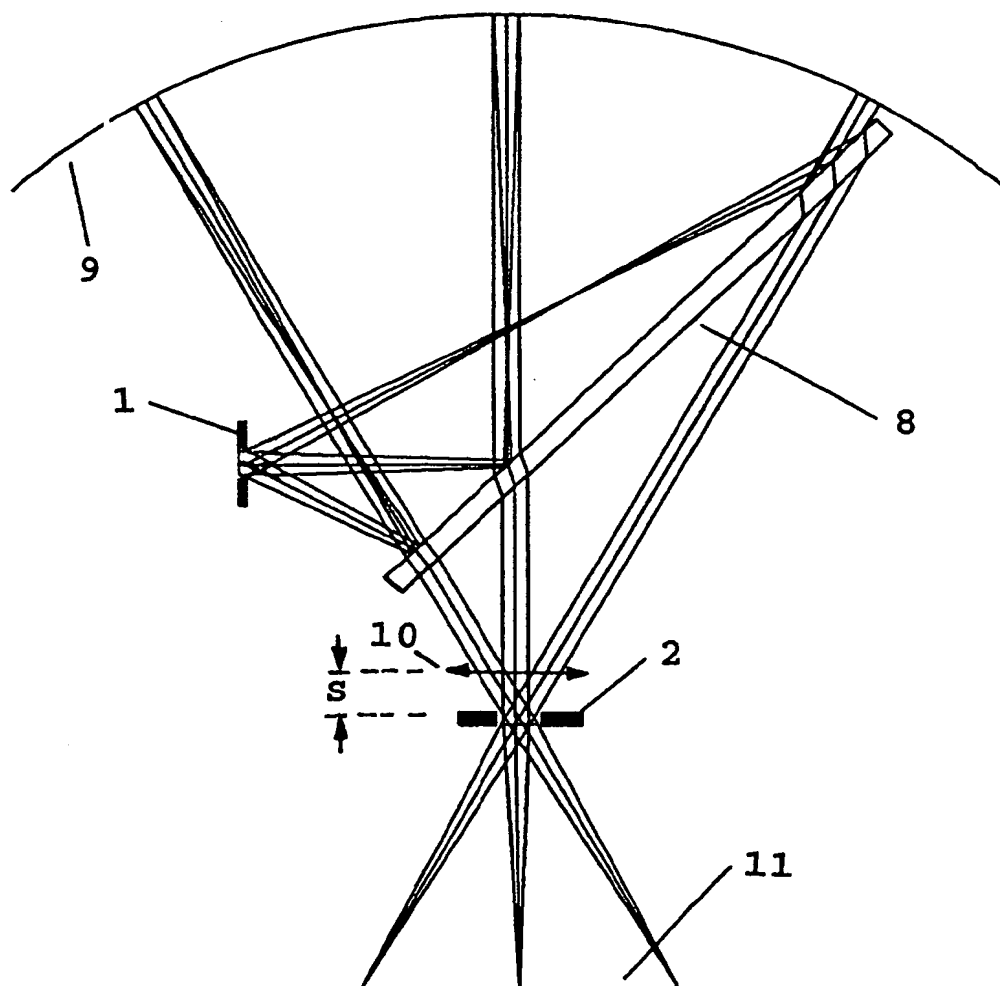
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Signalen des Lichtdetektors (12) die Blickrichtung des Beobachteraues bestimmt wird und beim Betrachten verschiedener bestimmter Winkelfelder, die im projizierten Videobild bei Betrachtung als "optische Menüasten" definiert sind, der Beobachter durch Augensteuerung den projizierten Videobildinhalt beeinflussen kann.

---

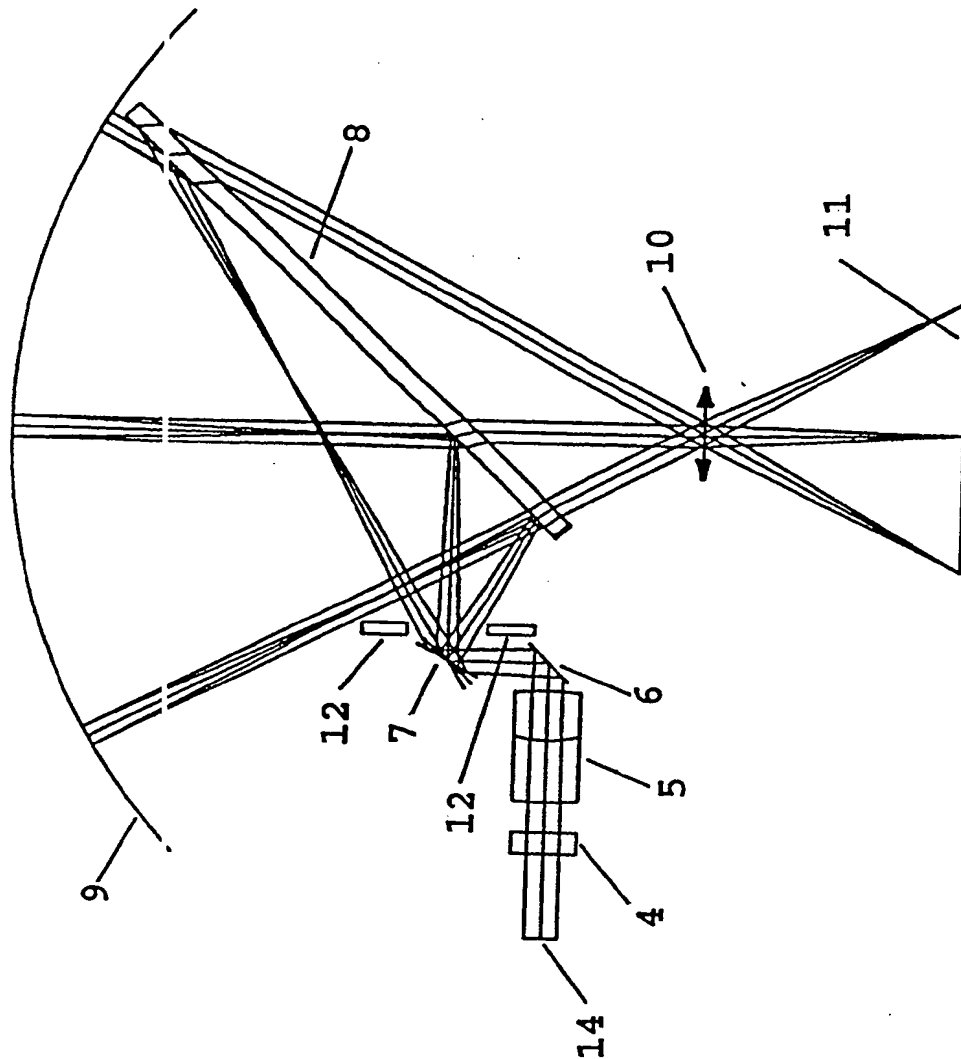
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



**FIG. 1**



**FIG. 2**



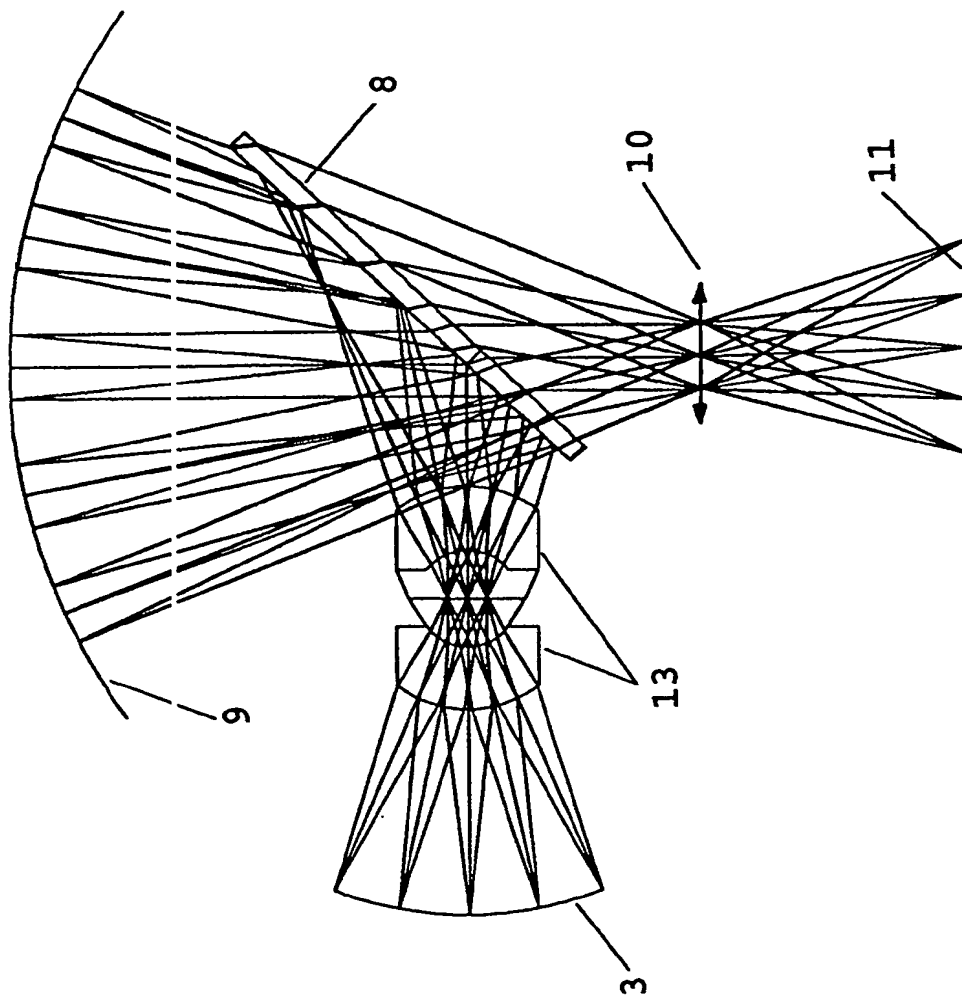


FIG. 3